

海外植林地における炭素蓄積量の推定精度：

インドネシア国「パリヤン野生動物保護林再生プロジェクト」の事例



植林前（2005年撮影）



植林後（2017年撮影）

仲摩栄一郎¹, Dian Ayu², Rachmat Dwi², Gunawan Setiadji³, 佐藤裕隆⁴, 石塚森吉¹

1 公益財団法人国際緑化推進センター、2 インドネシア環境林業省自然資源保全総局、

3 PT. Rimba Partikel Indonesia、4 住友林業株式会社

1. 背景・目的

- MS&ADインシュアランスグループである、三井住友海上火災保険株式会社は、熱帯林の減少問題を改善するために、インドネシアのジャワ島において、2005年から「パリヤン野生動物保護林再生プロジェクト」を実施中。
- これまでに、対象地**434.8 ha**に、在来樹種・有用樹種及び果樹等を、アグロフォレストリー等の手法を用いて**30万本以上**植林してきた。
- 本研究では、本プロジェクトの気候変動緩和効果を定量的に評価することを目的として、植林による立木のバイオマス、炭素蓄積量、及び**CO₂**吸収量を推定した。また、その推定精度（不確実性）に影響を与える因子を考察する。



苗畑



植林前
(2005年撮影)



植林後
(2017年撮影)

現地視察ツアー

2. 対象地

本プロジェクトは、インドネシア共和国ジョグジャカルタ特別州（図1）グヌン・キドゥル県（図2）パリヤン及びサプトサリー郡の国有林、「パリヤン野生動物保護林（図3）」（434.8 ha）を対象としている。



図1. ジョグジャカルタ特別州

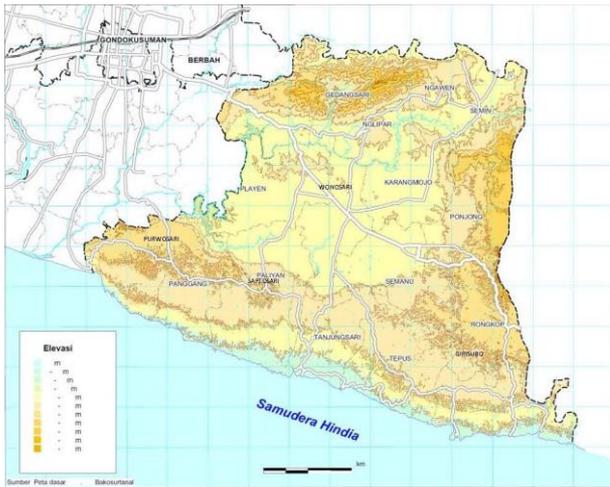


図2. グヌン・キドゥル県

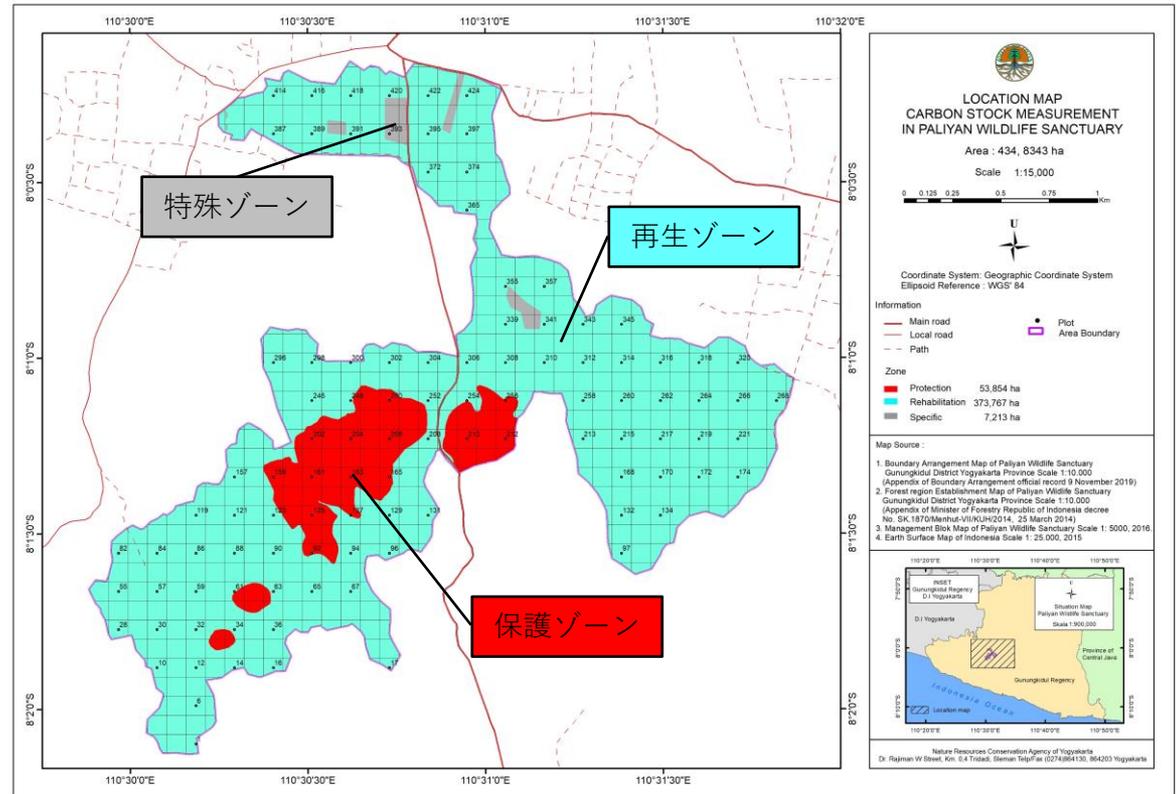


図3. パリヤン野生動物保護林（管理用ゾーニング図）

提供元）インドネシア環境林業省自然資源保全総局³

3. 方法

3-1. 対象地の土地利用分類（階層化）

- 対象地（434.8ha）を、既存の土地利用分類図に従って6つに階層化（表1、図4）。
- 対象地全体に、200m×200m間隔で計103個のサンプリング・ポイントを設定。

表1. 対象地の階層化

階層	土地利用分類	階層面積 (ha)	サンプル数
1	高密度林	212.8	53
2	中密度林	22.4	3
3	灌木林	88.2	19
4	アグロフォレストリー	102.5	26
5	裸地	5.7	1
6	その他	3.2	1
計		434.8	103

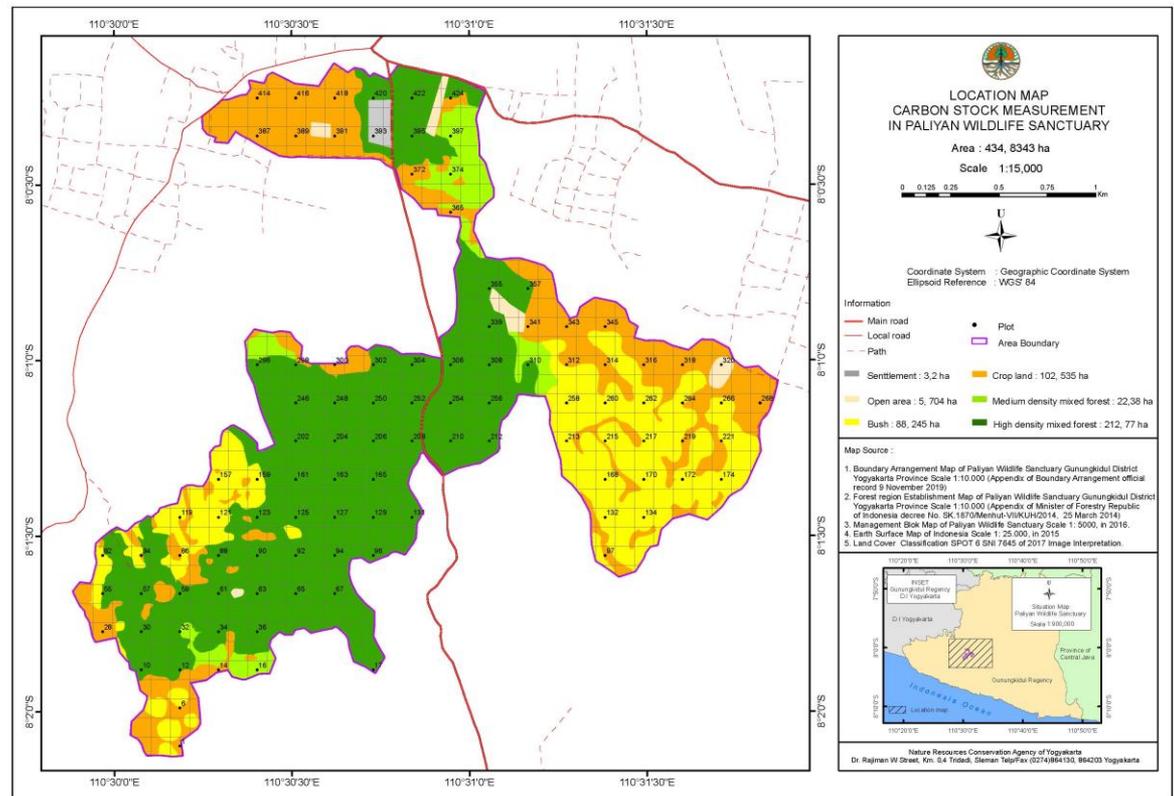


図4. パリヤン野生動物保護林の土地利用分類図
提供元) インドネシア環境林業省自然資源保全総局⁴

3-2. サンプルプロットの設定及び測樹

- ✓ サンプルング・ポイントを中心として、半径12.61mの円形サンプル・プロット（面積：500m²）を設定し、2019年8～9月にかけて、プロット内の立木の胸高直径（5cm以上）、及び樹高を測定。
- ✓ プロット概況を写真撮影。

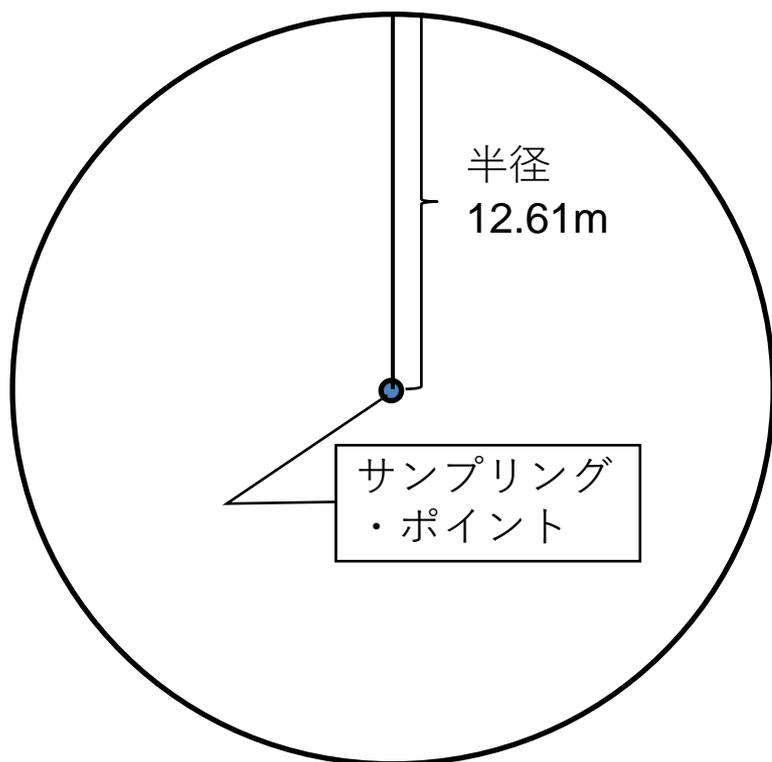


図5. サンプルングプロット模式図



胸高直径の測定



レーザー距離計を用いた樹高の測定 5

プロット概況の写真撮影

サンプリング・ポイント
を中心として、東西南北
及び上方を撮影

北方



西方



上方



東方



南方

表2. 立木毎の測樹データ (例)

土地利用分類 (階層)	プロット No.	立木 No.	幹 No.	幹 ID	現地名	学名	胸高 直径 (cm)	樹高 (m)
アグロフォレストリー	1	1	1	1	asem	<i>Tamarindus indica</i>	8.6	4.2
		2	2	2	asem	<i>Tamarindus indica</i>	18.0	8.4
		3	3	3	asem	<i>Tamarindus indica</i>	13.8	6.3
		4	4	4	jati	<i>Tectona grandis</i>	12.1	5.1
		5	5	5	jati	<i>Tectona grandis</i>	19.1	13.1
		6	6	6	segon laut	<i>Falcataria moluccana</i>	5.2	4.3
		7	7	7	segon laut	<i>Falcataria moluccana</i>	5.1	4.3
			8	8	segon laut	<i>Falcataria moluccana</i>	6.9	6.0
プロット1 計	1	7	8		平均	11.1	6.5	
アグロフォレストリー	6	1	1	9	jati	<i>Tectona grandis</i>	33.6	15.9
		2	2	10	jati	<i>Tectona grandis</i>	15.6	12.8
		3	3	11	jati	<i>Tectona grandis</i>	25.1	17.8
		4	4	12	jati	<i>Tectona grandis</i>	38.0	15.0
		5	5	13	johar	<i>Senna siamea</i>	26.2	16.0
		6	6	14	johar	<i>Senna siamea</i>	8.8	11.0
		7	7	15	johar	<i>Senna siamea</i>	16.7	13.3
		8	8	16	jati	<i>Tectona grandis</i>	26.0	11.0
		9	9	17	jati	<i>Tectona grandis</i>	44.8	19.1
		10	10	18	jati	<i>Tectona grandis</i>	24.2	9.8
プロット2 計	6	10	10		平均	25.9	14.2	

表3. プロット毎の測樹データ (例)

ゾーン	土地利用分類 (階層)	プロット No.	プロット ID	立木 数	幹 数	平均 胸高 直径 (cm)	平均 樹高 (m)	立木 密度 (本/ha)	幹 密度 (本/ha)
再生	アグロフォレストリー	1	1	7	8	11.1	6.5	140	160
	アグロフォレストリー	6	2	10	10	25.9	14.2	200	200
	高密度林	10	3	23	30	11.7	5.7	460	600
	高密度林	12	4	7	9	13.8	6.3	140	180
	アグロフォレストリー	14	5	5	7	11.7	5.5	100	140
	中密度林	16	6	8	10	24.8	14.2	160	200
	高密度林	17	7	27	33	13.5	9.9	540	660
	アグロフォレストリー	28	8	8	8	14.0	4.9	160	160
	高密度林	30	9	20	26	13.4	7.0	400	520
	高密度林	32	10	19	27	13.8	7.3	380	540
	高密度林	34	11	6	6	25.6	13.6	120	120
～	～	～	～	～	～	～	～	～	～
再生	アグロフォレストリー	418	100	24	30	16.4	7.2	480	600
	高密度林	420	101	26	31	16.9	7.9	520	620
	高密度林	422	102	8	9	19.8	8.7	160	180
	高密度林	424	103	17	23	16.4	8.7	340	460

3-3. アロメトリー式を用いた立木の地上部及び地下部バイオマスの算出

- ✓ まず、測樹データを基にして、各立木の地上部バイオマス (AGB) を、汎用アロメトリー式 (式1) を用いて算出。
- ✓ 次に、各立木の地下部バイオマス (BGB) を、BGB/AGB比 (式2) を用いて算出。

$$AGB = 0.0673 \times (WD \times DBH^2 \times HT)^{0.976} \dots (式1)$$

出典) Chave et al., 2014

WD : 樹種別材容積密度 (スライド10に記載)

$$BGB/AGB = EXP(-1.2312 - 0.0215 \times DBH + 0.0002 \times DBH^2 - 0.0007 \times MWD - 0.1631) \dots (式2)$$

出典) Ledo et al., 2018

MWD : 年平均水分欠乏量 (スライド11で説明)

表4. 総出現樹種の名称（43種）及び材容積密度（WD）

No.	学名	現地名	WD (g/cm ³)
1	<i>Acacia mangium</i>	akasia	0.550
2	<i>Adenanthera pavonine</i>	saga	0.623
3	<i>Albizia saman</i>	munggur	0.480
4	<i>Alstonia scholaris</i>	pulai	0.342
5	<i>Anacardium occidentale</i>	jambu mete	0.391
6	<i>Annona muricata</i>	sirsak	0.344
7	<i>Annona squamosa</i>	srikaya	0.528
8	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	angka	0.461
9	<i>Azadirachta indica</i>	mimba	0.626
10	<i>Bauhinia purpurea</i>	tayuman	0.620
11	<i>Caesalpinia sappan</i>	secang	0.677
12	<i>Casuarina junghuhniana</i>	cemara gunung	0.852
13	<i>Ceiba pentandra</i>	randu	0.261
14	<i>Cinchona sp.</i>	terbelo pusuh	0.430
15	<i>Cocos nucifera</i>	kelapa	0.467
16	<i>Dalbergia latifolia</i>	sonokeling	0.666
17	<i>Delonix regia</i>	flamboyan	0.436
18	<i>Falcataria moluccana</i>	sengon laut	0.365
19	<i>Ficus carica</i>	liana	0.380
20	<i>Ficus glomerata</i>	elo	0.324

21	<i>Ficus septica</i>	awar-awar	0.405
22	<i>Gliricidia sepium</i>	gamal	0.589
23	<i>Gnetum gnemon</i>	melinjo	0.615
24	<i>Hibiscus tiliaceus</i>	waru	0.416
25	<i>Leucaena leucocephala</i>	lamtoro	0.552
26	<i>Litsea glutinosa</i>	adem ati	0.481
27	<i>Mangifera indica</i>	mangga	0.540
28	<i>Melia azedarach</i>	mindu	0.520
29	<i>Morinda citrifolia</i>	mengkudu	0.556
30	<i>Muntingia calabura</i>	talok	0.258
31	<i>Neolamarckia cadamba</i>	jabon	0.413
32	<i>Psidium guajava</i>	jambu biji	0.600
33	<i>Pterocymbium tinctorium</i>	genduras	0.266
34	<i>Santalum album</i>	cendana	0.807
35	<i>Senna siamea</i>	johar	0.587
36	<i>Sesbania grandiflora</i>	turi	0.383
37	<i>Sterculia foetida</i>	kepuh	0.475
38	<i>Swietenia macrophylla</i>	mahoni daun besar	0.506
39	<i>Syzygium cumini</i>	duwet	0.604
40	<i>Syzygium polyanthum</i>	salam	0.539
41	<i>Tamarindus indica</i>	asem	0.853
42	<i>Tectona grandis</i>	jati	0.578
43	<i>Terminalia catappa</i>	ketapang	1.0450

出典) ICRAF, 2019、Chave et al., 2014、
Vieilledent et al., 2018

年平均水分欠乏量 (MWD) の計算

- ✓ 算定期間における月別平均降水量、及び月別平均蒸発散可能量を入手。
- ✓ 月別平均降水量 < 月別平均蒸発散可能量となる月についてのみ、月平均水分欠乏量を計算し、それらを合計して年平均水分欠乏量 (MWD) を算出 (式3)。

$$MWD = \sum_{1}^{12} (\text{月別平均降水量} - \text{月別平均蒸発散可能量}) \quad \dots \text{(式3)}$$

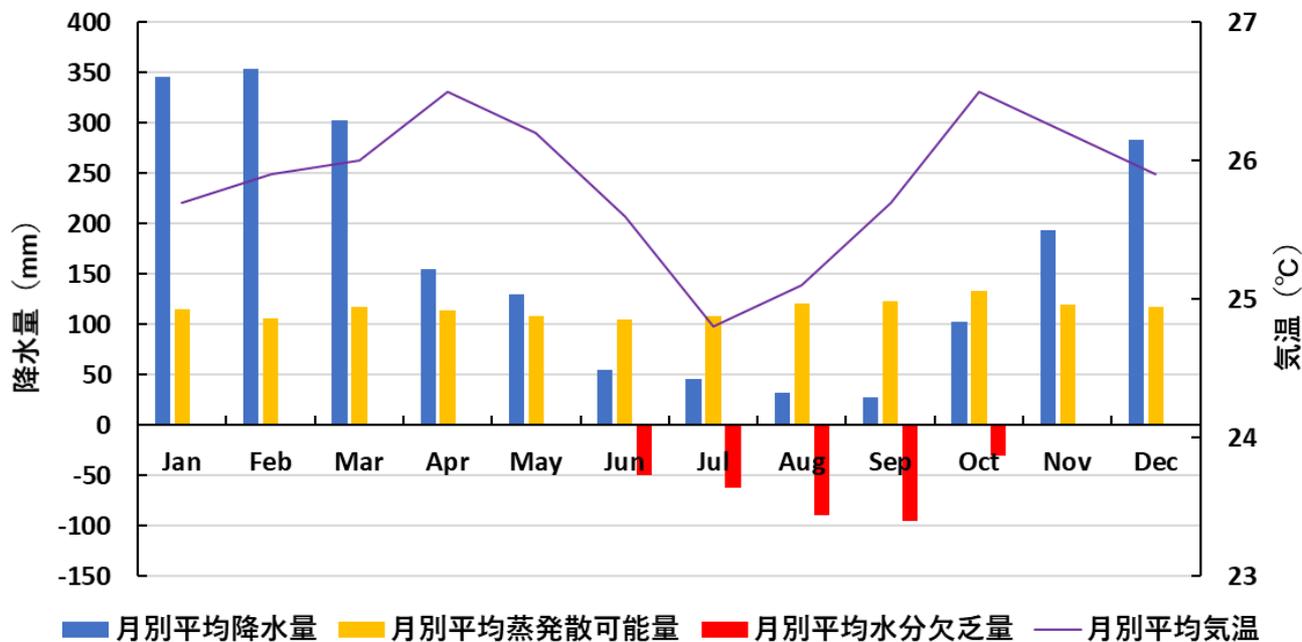


図6. 月別の平均気温、平均降水量 (1982~2012年)、蒸発散可能量、水分欠乏量
出典) Climate-Data.org, 2019、FAO, 2019

4. 結果

4-1. 各立木のバイオマス

- ✓ 測樹データに基づき、各立木の地上部バイオマス（AGB）を、汎用アロメトリック式（数式1）を用いて算出。
- ✓ 次に、各立木の地下部バイオマス（BGB）を、BGB/AGB比（数式2）を用いて算出。

表5. プロット内の各立木のバイオマスデータ（例）

プロット No.	幹 No.	学名	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	WD (t/m ³)	地上部バイオマス (kg)	地下部/地上部比	地上部バイオマス (kg)	計 (kg)
1	1	<i>Tamarindus indica</i>	8.6	4.2	0.85	16	0.26	4	20
	2	<i>Tamarindus indica</i>	18.0	8.4	0.85	130	0.23	29	159
	3	<i>Tamarindus indica</i>	13.8	6.3	0.85	58	0.24	14	72
	4	<i>Tectona grandis</i>	12.1	5.1	0.58	25	0.25	6	31
	5	<i>Tectona grandis</i>	19.1	13.1	0.58	154	0.22	34	188
	6	<i>Falcataria moluccana</i>	5.2	4.3	0.37	3	0.28	1	3
	7	<i>Falcataria moluccana</i>	5.1	4.3	0.37	3	0.28	1	3
	8	<i>Falcataria moluccana</i>	6.9	6.0	0.37	6	0.27	2	8
	平均/計			11.1	6.5	-	394	-	91

4-2. プロット毎の立木のバイオマスデータ (例)

✓ プロット毎に立木のバイオマス及び単位面積当たりバイオマスを算出。

表6. プロット毎の立木のバイオマスデータ (例)

プロットNo.	ゾーン	土地利用分類 (階層)	プロット内立木のバイオマス (kg)			単位面積当たり 立木のバイオマス	
			地上部	地下部	計	(kg/ha)	(t/ha)
1	再生	アグロフォレストリー	394	91	485	9,692	9.7
6	再生	アグロフォレストリー	3,780	728	4,508	90,155	90.2
10	再生	高密度林	1,336	306	1,642	32,844	32.8
12	再生	高密度林	1,106	213	1,319	26,380	26.4
14	再生	アグロフォレストリー	498	102	601	12,012	12.0
16	再生	中密度林	2,631	533	3,164	63,279	63.3
17	再生	高密度林	2,983	625	3,608	72,169	72.2
28	再生	アグロフォレストリー	373	80	453	9,064	9.1
30	再生	高密度林	1,634	366	2,000	40,006	40.0
32	再生	高密度林	2,013	432	2,445	48,908	48.9
34	再生	高密度林	2,226	427	2,653	53,063	53.1
36	再生	高密度林	2,956	666	3,623	72,451	72.5
55	再生	高密度林	556	129	684	13,690	13.7
57	再生	高密度林	3,321	725	4,046	80,913	80.9
59	再生	高密度林	2,531	578	3,109	62,174	62.2
61	再生	高密度林	2,792	575	3,367	67,338	67.3
82	再生	灌木林	2,768	595	3,363	67,264	137.3

4-3. プロット立木バイオマスの分布

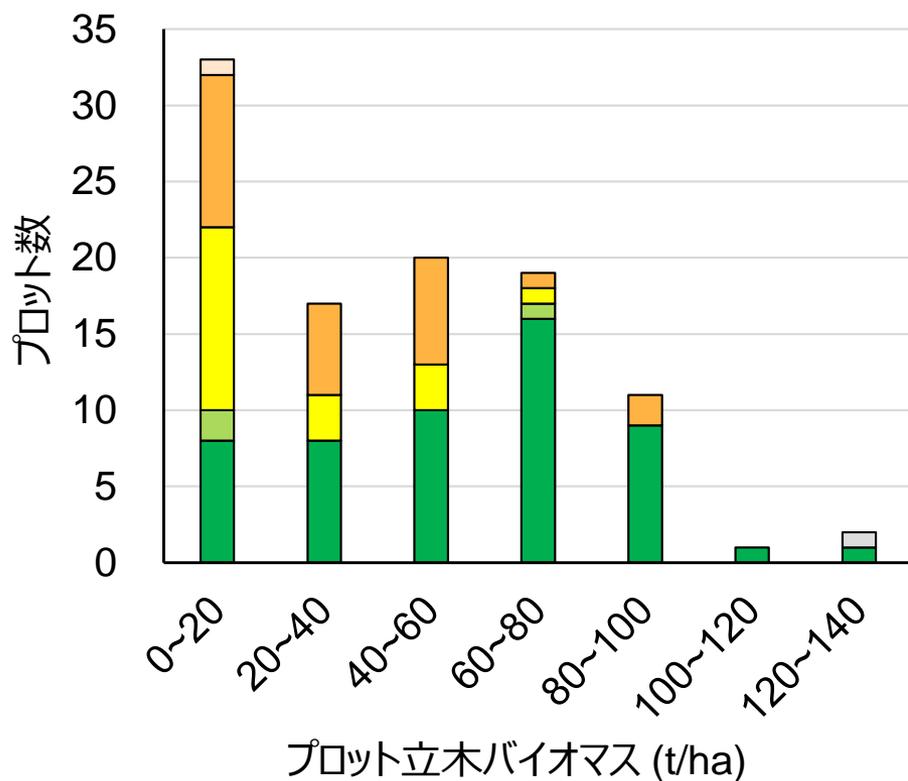


図7. 土地利用分類（階層）別のプロット立木バイオマスの分布

- 裸地
- その他
- アグロフォレストリー
- 灌木林
- 中密度林
- 高密度林

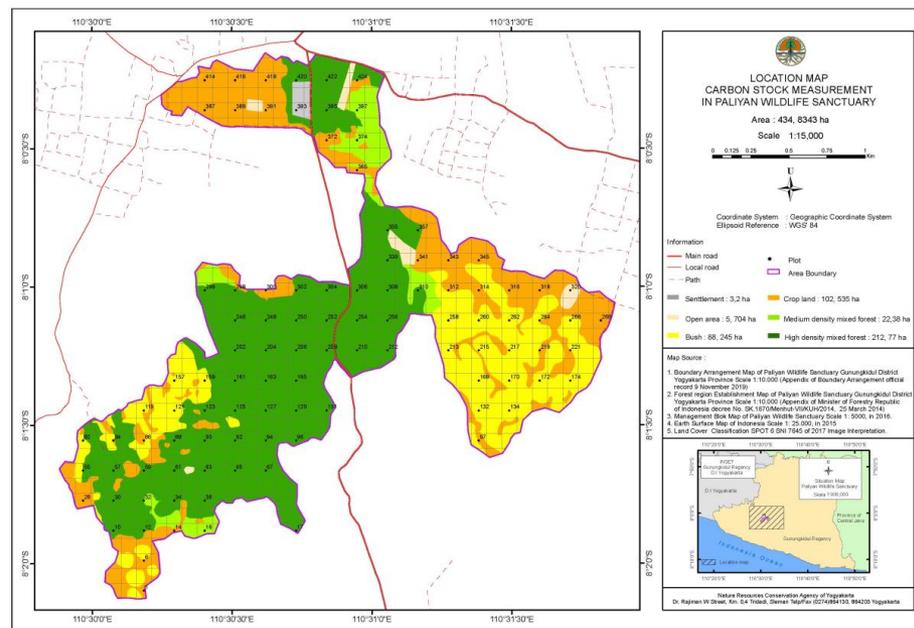


図4. パリヤン野生動物保護林の土地利用分類図（再掲）

4-4. 土地利用分類（階層）毎の立木のバイオマス

表7. 土地利用分類（階層）毎の立木のバイオマス

土地利用分類 (階層)	プロット数	平均胸高直径 (cm)	平均樹高 (m)	平均幹数 (本)	平均幹密度 (本/ha)	平均立木バイオマス (kg/プロット)			単位面積当り (t/ha)	総立木バイオマス (t)
						地上部	地下部	計		
その他	1	21.4	16.3	16	320	5,018	1,045	6,063	121.3	388
アグロフォレストリー	26	14.1	7.4	17	332	1,333	282	1,616	32.3	3,314
灌木林	19	10.1	5.5	24	482	829	187	1,016	20.3	1,793
中密度林	3	15.3	8.5	13	253	1,255	263	1,518	30.4	680
高密度林	53	12.2	8.2	38	756	2,352	526	2,878	57.6	12,246
計/平均	103	11.7	7.5	29	572	1,785	394	2,179	42.4	18,420

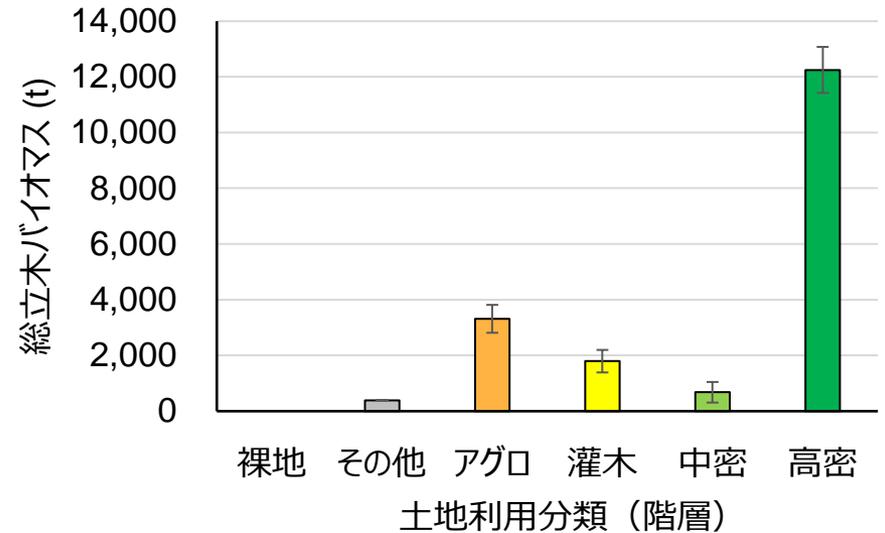
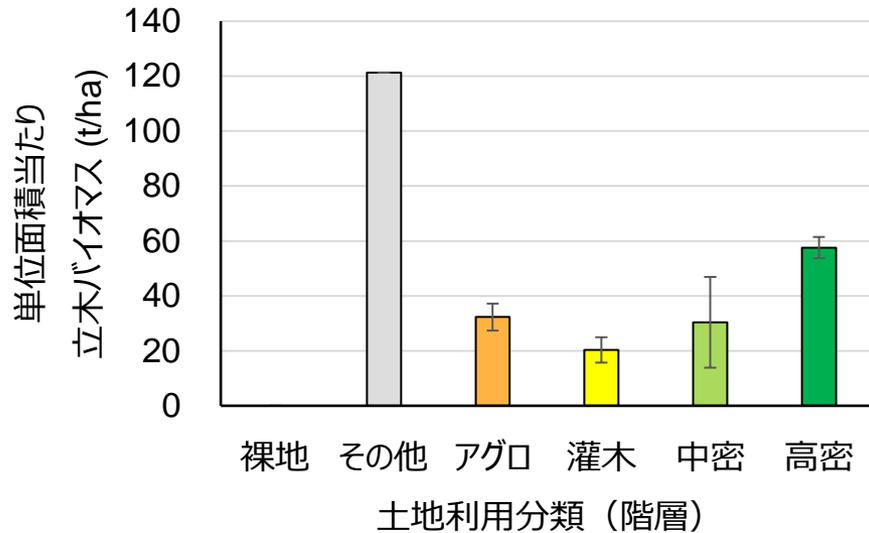


図8. 土地利用分類（階層）毎の立木のバイオマス

4-5. 立木のバイオマス、炭素蓄積量、及びCO₂吸収量

表8. 立木のバイオマス、炭素蓄積量、及びCO₂吸収量

立木	単位	総量		単位面積当たり(/ha)		備考
		現存量	年間平均	現存量	年間平均	
バイオマス	t	18,420	1,316	42.4	3.0	
炭素蓄積量	tC	8,657	618	19.9	1.4	0.47 (炭素係数, IPCC 2006)
CO ₂ 吸収量	tCO ₂	31,744	2,267	73.0	5.2	44/12 (CO ₂ /C分子量比)

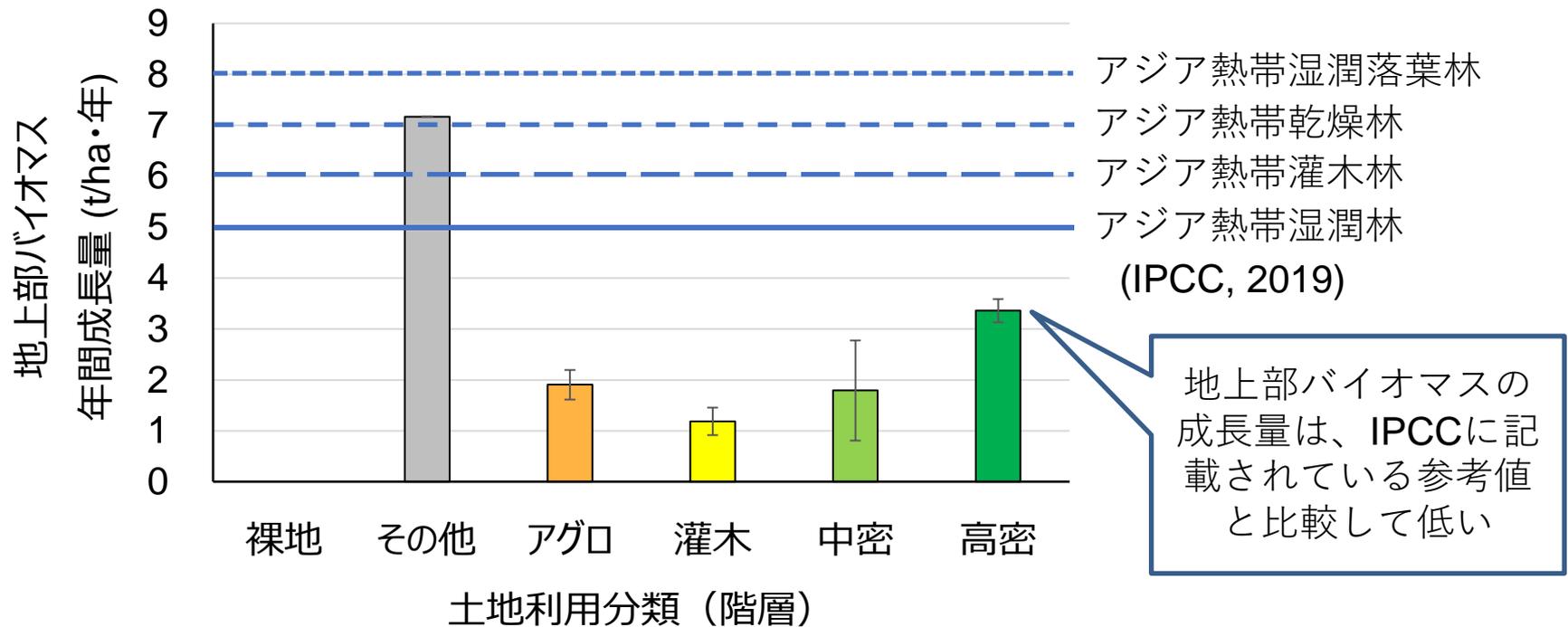


図9. 土地利用分類 (階層) 毎の地上部バイオマス年間成長量

5. 考察（1）立木バイオマス成長量が低い理由

- IPCC(2019)のアジア熱帯湿潤落葉樹林地帯の植林地のAGB成長量の元データは早成樹種のユーカリである。本プロジェクトでは、在来樹種及び有用樹種を植えているため、早成樹種よりは成長が劣る。
- 乾季が長く成長期間が短いため、樹木の成長が遅い。
- 対象地は石礫地で、特に斜面上部は土が少ない岩石地であり、樹木の成長が悪い。このような場所は最もバイオマスの低い灌木林となっており全体の約20%を占める。
- 植林密度（幹密度）がアグロフォレストリーで432本/ha、灌木林で482本/ha、中密度林では253本/ha、高密度林でも756本/haであり、アジアの熱帯湿潤落葉樹林地帯における一般的な植林地（立木密度：1,111本/ha、3m×3m植栽と仮定）と比較して少ない。
- 一部のマメ科樹種を対象に家畜飼料用の枝葉の過度な採取が行われており、成長量の低下を招いている。

4-6. 推定精度（サンプリング（標本）誤差に基づく不確実性）

- ◆ 本調査のサンプリング（標本）誤差に基づく不確実性を、統計的に信頼度90%で計算した結果、11.5%と計算された。
- ◆ この数値は、VCSの要求基準：信頼度90%で不確実性20%以内（VERRA, 2017）を十分に満たしており、推定精度が高いことが確認された。

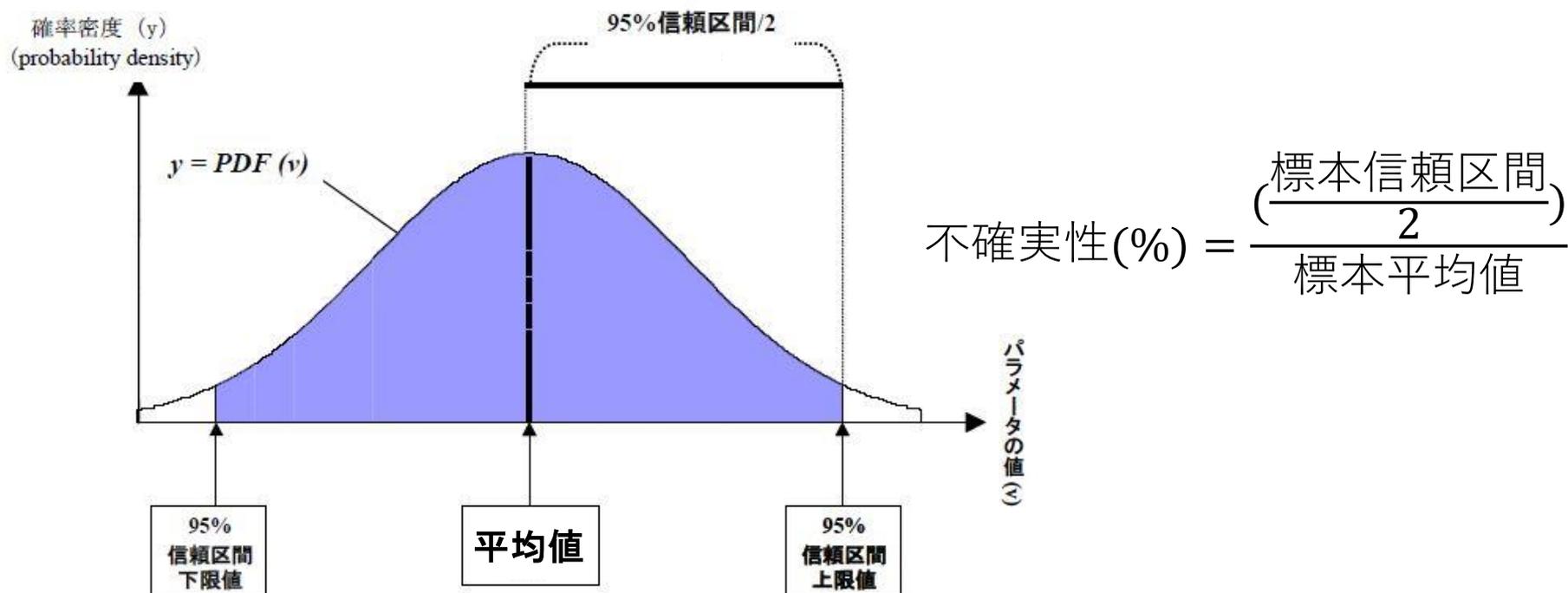


図10. サンプリング（標本）誤差に基づく不確実性（平均値と信頼区間）

（一般に信頼度は95%が用いられるが、森林分野では90%も用いられる。）

4-7. 不確実性因子の特定（階層化無し）

- ◆ 海外の植林地及び二次林のバイオマスの推定精度について、これまでに筆者らが調査したその他事例と本調査の結果を比較し、どのような因子が不確実性に影響するか分析した。

表9. 不確実性に関する因子

国名	森林タイプ	対象面積 (ha)	プロット面積 (m ²)	サンプル数	サンプル率	平均バイオマス (t/ha)	ばらつき			不確実性 (%)
							分散	標準偏差	標準誤差	
インドネシア	環境植林地	438	500	103	1.18%	43.6	967	31.1	3.1	11.7
	ゴム植林地	67	500	56	4.2%	15.6	404	20.1	2.7	28.7
	マングローブ二次林	1,790	1,256	134	0.9%	147.1	19,768	140.6	13.0	14.8
ベトナム	産業植林地	9,777	400	65	0.03%	58.8	2,304	48.0	6.0	16.9

<データ出所>

インドネシア環境植林地（2019年調査結果）：（本発表事例）

インドネシアゴム植林地（2019年調査結果）：インドネシア南カリマンタン州におけるW-BRIDGE住民参加型ゴムノキ植林プロジェクト（未発表）

インドネシアマングローブ二次林（2011年調査結果）：棚橋ら（第23回日本熱帯生態学会年次大会発表）
インドネシア南スマトラ州のマングローブにおける地上調査を通じたバイオマス蓄積量の推定方法の検討。

ベトナム産業植林地（2011年調査結果）：仲摩ら（平成23年度REDD+国際セミナー発表）海外植林地における炭素蓄積量の推定精度評価：ベトナム国QPFL産業植林地の事例。

4-7. 不確実性因子の特定（階層化無し）：対象面積、プロット面積、 サンプル数、及びサンプル率

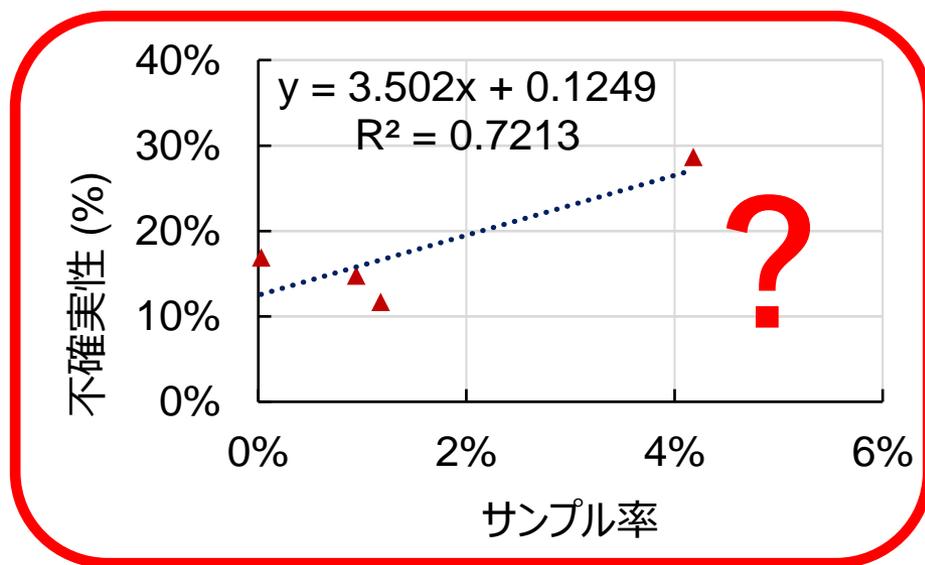
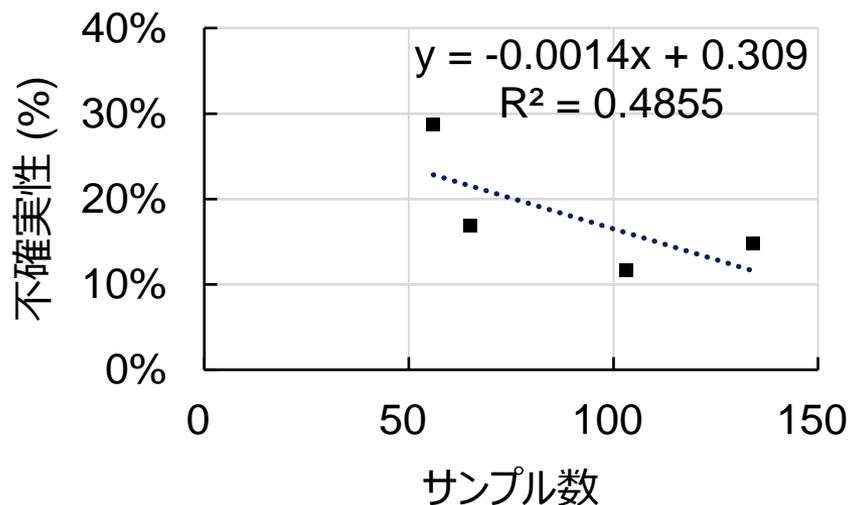
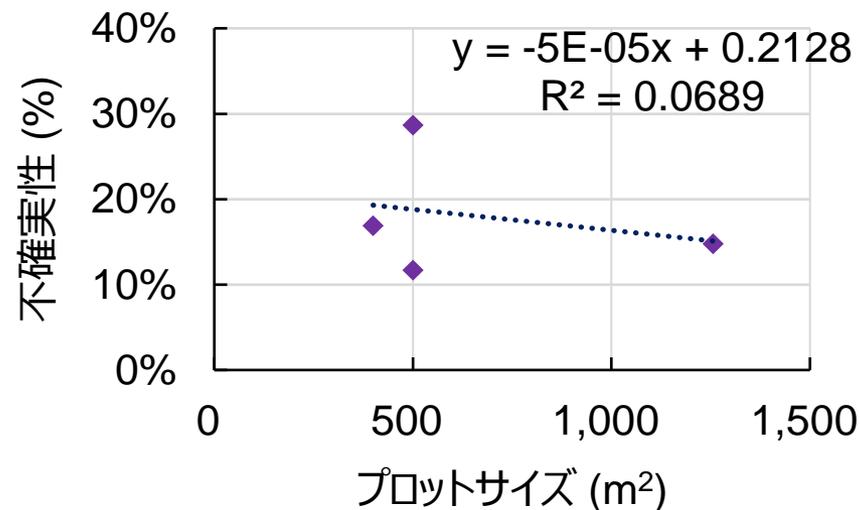
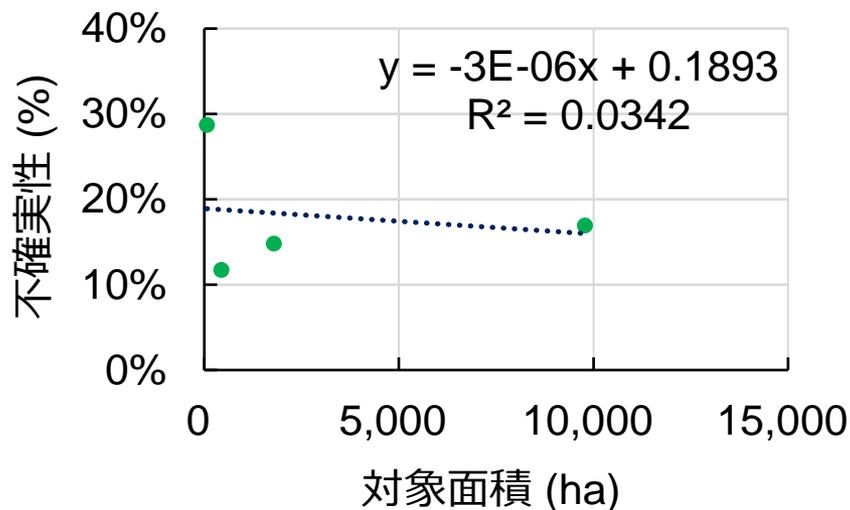


図11. サンプリングに係る各種因子と不確実性の関係（階層化無し）

4-7. 不確実性因子の特定（階層化無し）：平均バイオマス、分散、

標準偏差、標準誤差

注) サンプル数が3以下の階層は除いた

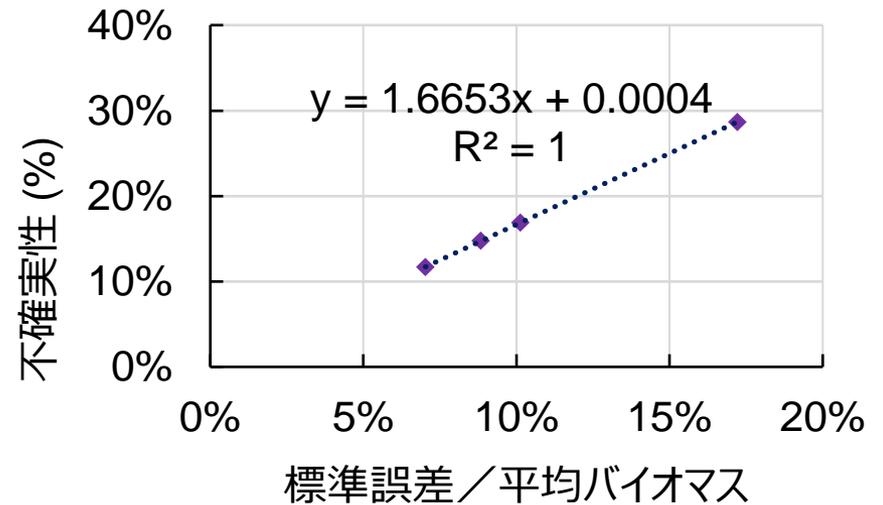
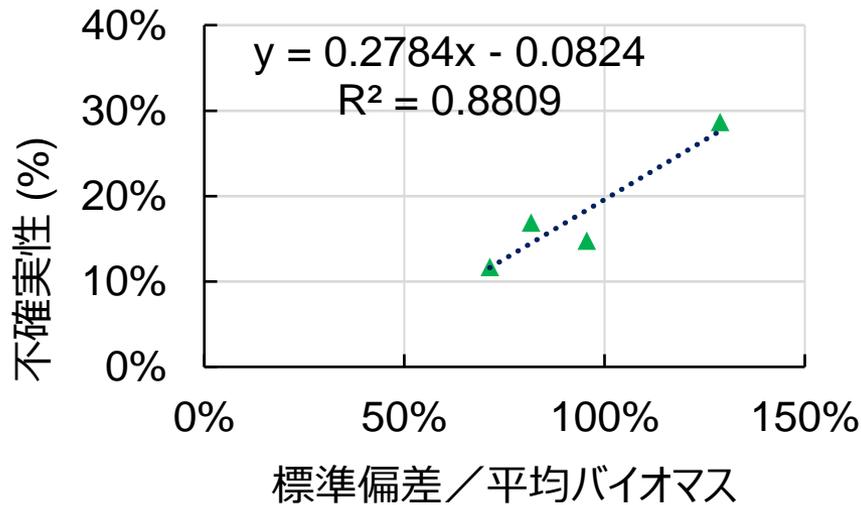
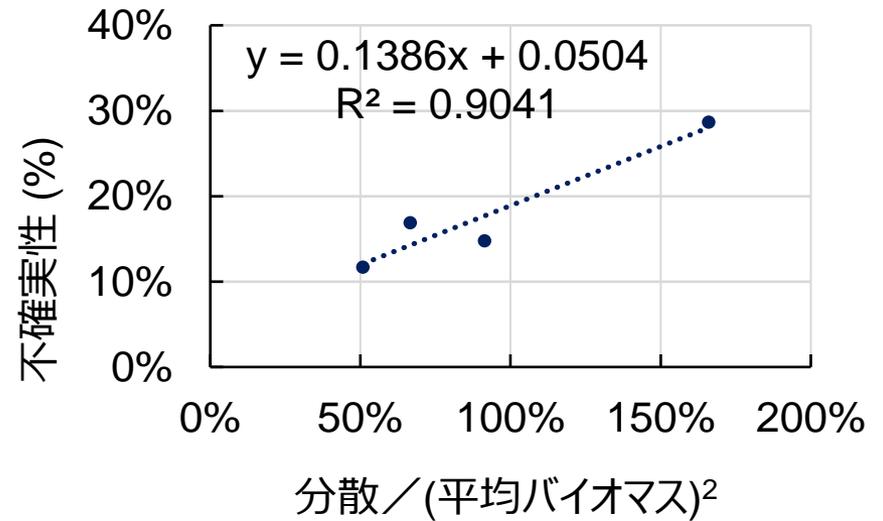
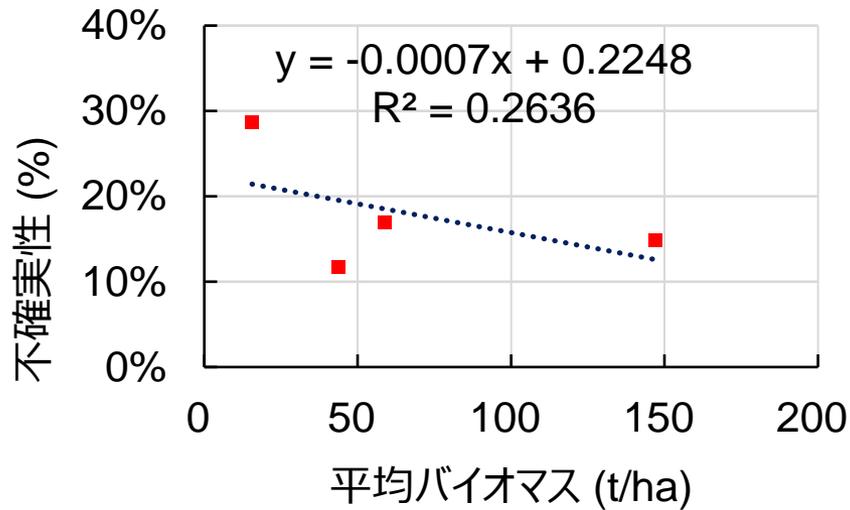


図12. バイオマス平均値及びそのばらつきと不確実性の関係（階層化無し） 21

4-7. 不確実性因子の特定 (階層化無し)

サンプル数が少なく、信頼性に？

表10. 不確実性因子と不確実性の相関 (階層化無し)

不確実性因子 (階層化無し)	階層化無し		理論との 整合性	
	相関係数 (r)	決定係数 (r ²)		
対象面積 (A)	-0.18	0.03	有り	
プロット面積 (A _p)	-0.26	0.07	有り	
サンプル数 (n)	-0.70	0.49	有り	
サンプル率 (n*A _p /A)	0.85	0.72	疑わしい	
平均バイオマス (m)	-0.51	0.26	有り	
ばらつき	分散 (s ²)	-0.33	0.11	N.A.
	分散 (s ² /m)	-0.29	0.08	N.A.
	分散 (s ² /m ²)	0.95	0.90	有り
	標準偏差 SD	-0.40	0.16	N.A.
	標準偏差 (SD/m)	0.94	0.88	有り
	標準誤差 SE	-0.37	0.14	N.A.
	標準誤差 (SE/m)	1.00	1.00	有り

相関係数 (r)

-  : 0.00 ~ ±0.20
ほとんど相関がない
-  : 0.20 ~ ±0.40
低い相関がある
-  : 0.40 ~ ±0.70
比較的高い相関がある
-  : 0.70 ~ ±1.00
高い相関がある

$$\text{不確実性}(\%) = \frac{CI/2}{m}$$

信頼区間(CI)は、 $m \pm t\text{値} \times SE$

$$\text{標準誤差}(SE) = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

サンプル数 : n

サンプル : x

サンプル平均値 : m

$$\text{標準偏差}(SD) = \sqrt{s^2}$$

$$\text{分散}(s^2) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2$$

4-7. 不確実性因子の特定（階層化有り）：階層別のデータ

表11. 不確実性に関する因子（階層別データ）

国名	森林タイプ	階層No.	階層分類	対象面積 (ha)	プロットサイズ (m ²)	サンプル数	サンプル率	平均バイオマス (t/ha)	ばらつき								不確実性 (%)
									分散			標準偏差		標準誤差			
									値	/平均B	/(平均B) ²	値	/平均B	値	/平均B		
インドネシア	環境植林地	1	裸地	6	500	1	0.88%	0.0	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
		2	その他	3	500	1	1.56%	121.3	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
		3	アグロ	103	500	26	1.27%	32.3	622	1926%	60%	25	77.2%	5	15.1%	25.9%	
		4	灌木林	88	500	19	1.08%	20.3	406	1999%	98%	20	99.2%	5	22.8%	39.5%	
		5	中密度林	22	500	3	0.67%	30.4	815	2685%	88%	29	94.0%	16	54.3%	158.5%	
		6	高密度林	213	500	53	1.25%	57.6	800	1389%	24%	28	49.1%	4	6.7%	11.3%	
	ゴム植林地	6	1年生	16	500	10	3.18%	1.3	2	190%	150%	2	122.5%	0	38.7%	71.0%	
		5	3年生	12	500	10	4.13%	3.6	2	51%	14%	1	37.5%	0	11.9%	21.7%	
		4	4年生	11	500	10	4.39%	13.8	35	253%	18%	6	42.9%	2	13.6%	24.9%	
		3	5年生	9	500	8	4.44%	15.1	74	489%	32%	9	56.9%	3	20.1%	38.1%	
		2	6年生	7	500	6	4.23%	27.9	447	1603%	57%	21	75.8%	9	31.0%	62.4%	
	マングローブ二次林	1	7年生	12	500	12	5.17%	42.2	571	1353%	32%	24	56.6%	7	16.3%	29.3%	
		1	アビセニア林	32	1,256	2	0.80%	203	3,931	1938%	10%	63	30.9%	44	21.8%	137.9%	
		2	リゾフォラ林	591	1,256	44	0.94%	235	14,376	6125%	26%	120	51.1%	18	7.7%	12.9%	
		3	ブルゲリア林	223	1,256	18	1.01%	239	23,470	9808%	41%	153	64.0%	36	15.1%	26.3%	
		4	メラルーカ林	236	1,256	15	0.80%	37	1,764	4807%	131%	42	114.4%	11	29.6%	52.1%	
		5	ニッパ林	255	1,256	23	1.14%	46	3,697	8001%	173%	61	131.6%	13	27.4%	47.1%	
		6	草地	181	1,256	13	0.90%	21	404	1952%	94%	20	97.1%	6	27.0%	48.1%	
ベトナム	産業植林地	7	水面、雲及び雲影	274	N.A.	0	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
		1	1年生	486	N.A.	0	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
		2	2年生	992	N.A.	0	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
		3	3年生	1,064	400	10	0.04%	7	57	763%	102%	8	101.2%	2	31.7%	58.0%	
		4	4年生	1,218	400	10	0.03%	26	322	1244%	48%	18	69.3%	6	21.7%	39.7%	
		5	5年生	1,494	400	12	0.03%	47	696	1479%	31%	26	56.1%	8	16.0%	28.8%	
		6	6年生	1,363	400	12	0.04%	59	583	983%	17%	24	40.7%	7	11.6%	20.9%	
		7	7年生	992	400	12	0.05%	98	1,204	1231%	13%	35	35.5%	10	10.1%	18.2%	
8	8年生以上	737	400	9	0.05%	115	3,868	3361%	29%	62	54.1%	21	18.0%	33.5%			

注) サンプル数が3以下の階層（以降の分析では除く）

4-7. 不確実性因子の特定：階層化の有無

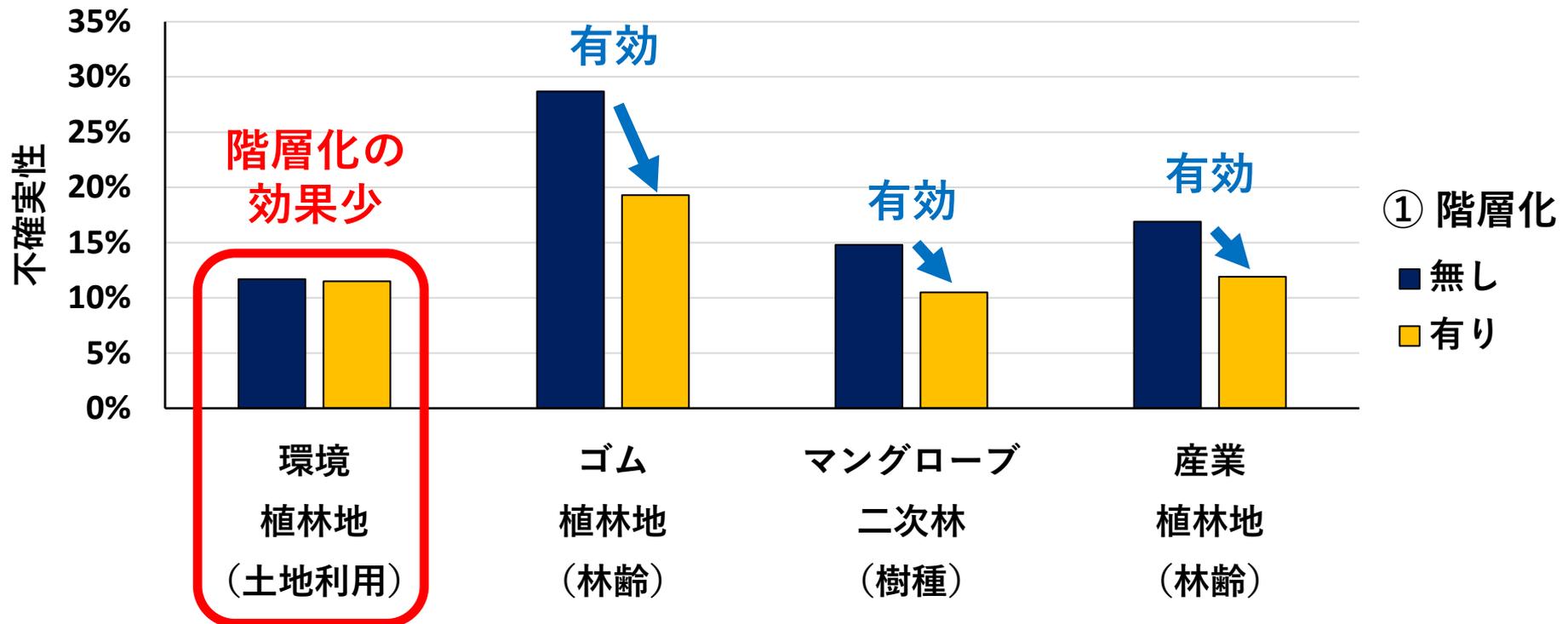


図13. 各調査事例における階層化の有無と不確実性（カッコ内は階層化の指標）

- ✓ 多くの場合、階層化することで不確実性が低下する。
- ✓ 階層化により不確実性を低下させるためには、一般的に、
 - 適切な階層指標を設定！
 - 各階層においてばらつきを小さく抑え！、かつ
 - 各階層において必要サンプル数を確保！

4-7. 不確実性因子の特定（階層化有り）：階層別の対象面積、 プロット面積、サンプル数、及びサンプル率

注) サンプル数が3以下の階層は除いた

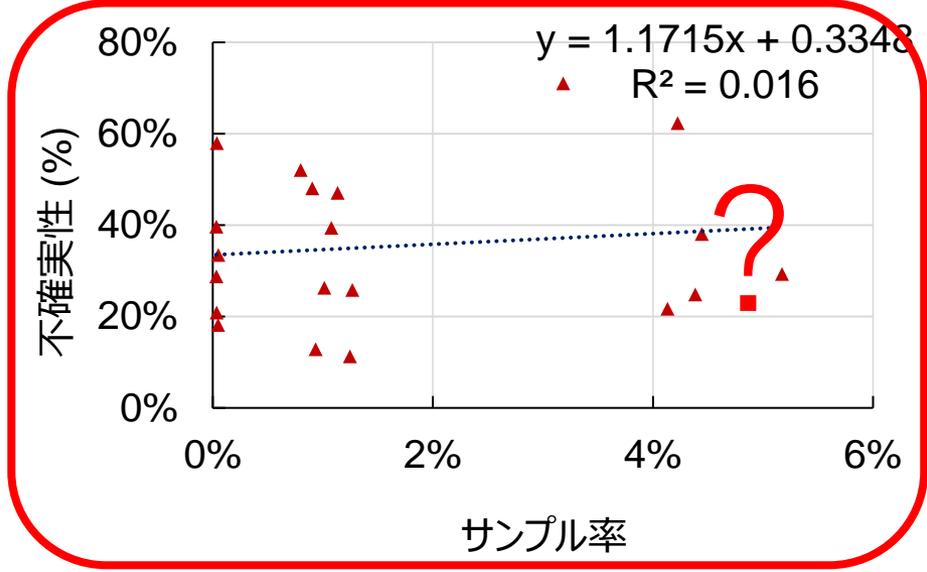
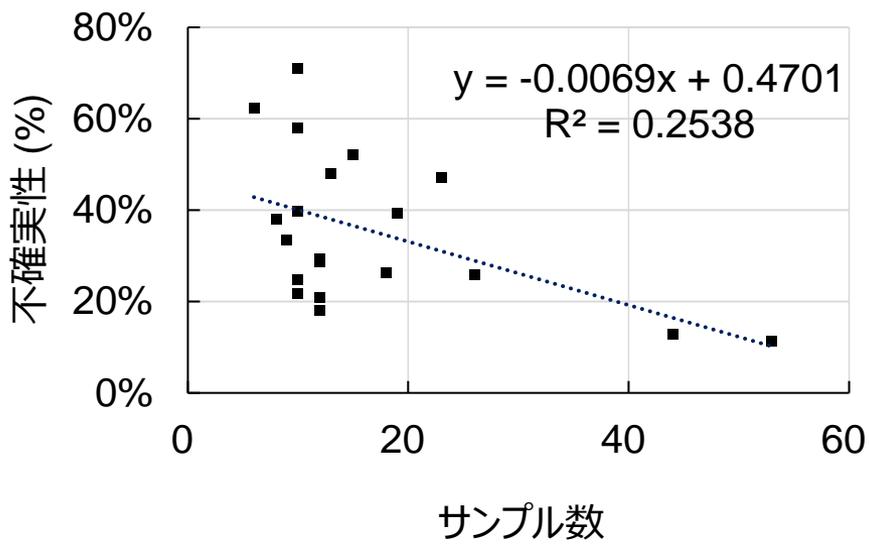
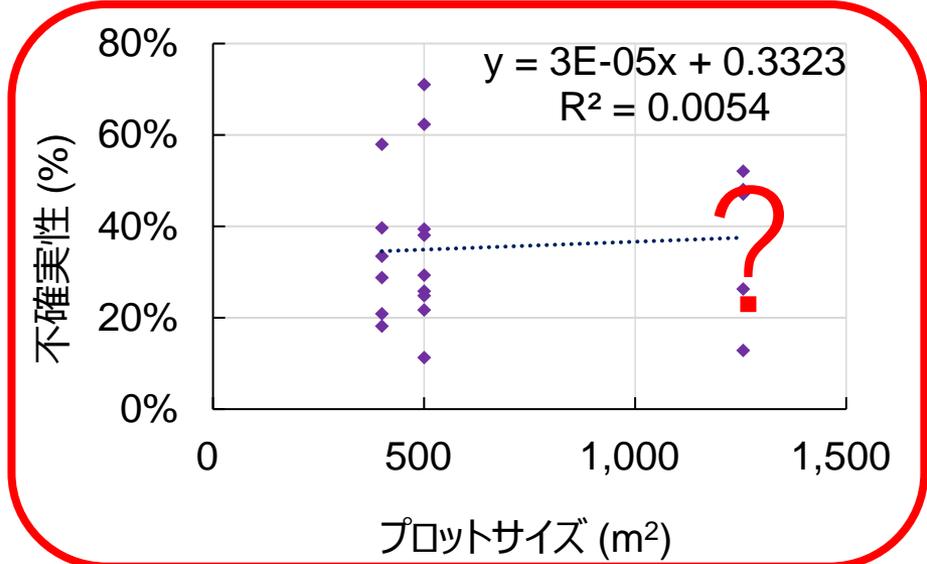
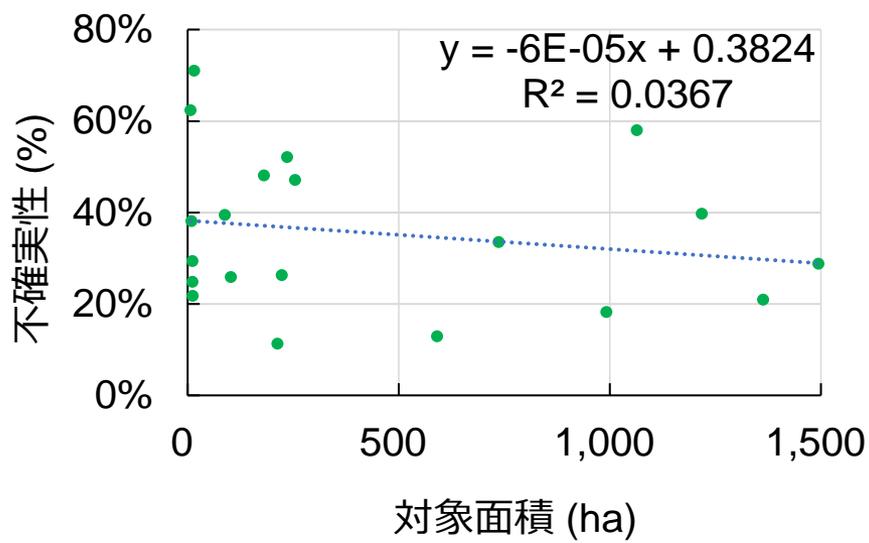


図14. サンプルングに係る各種因子と不確実性の関係（階層化有り）

4-7. 不確実性因子の特定（階層化有り）：階層別の平均バイオマス、分散、標準偏差、及び標準誤差

注) サンプル数が3以下の階層は除いた

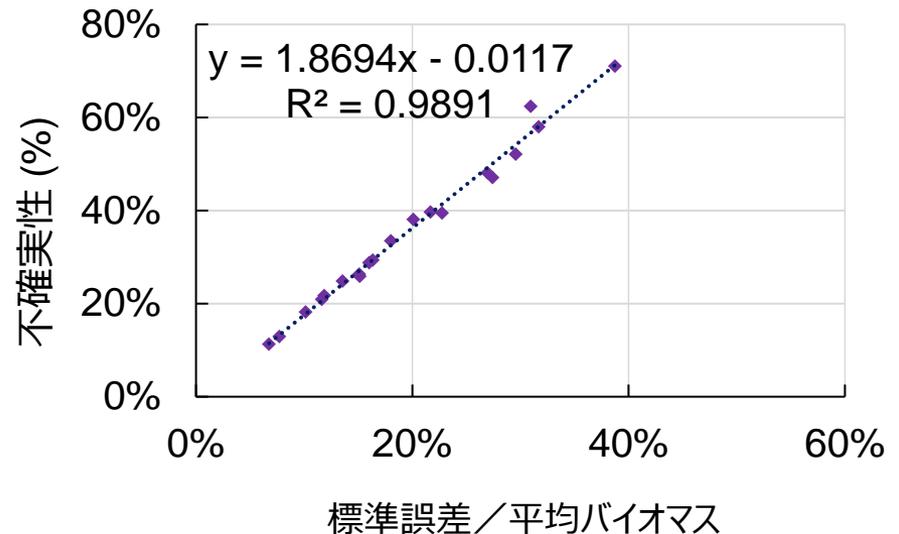
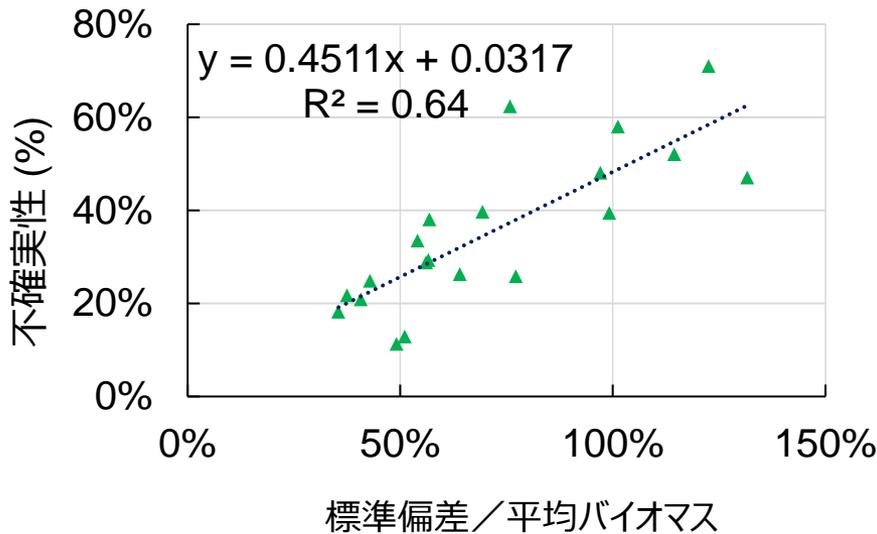
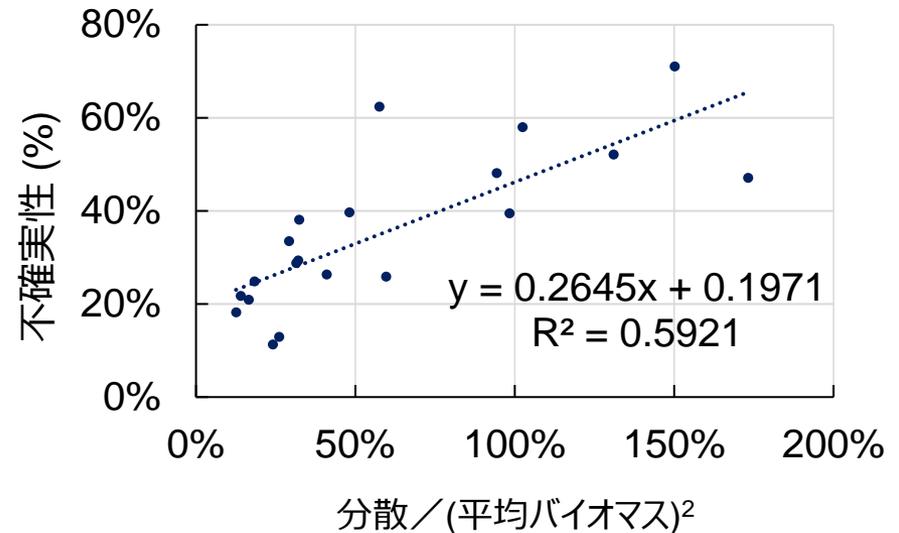
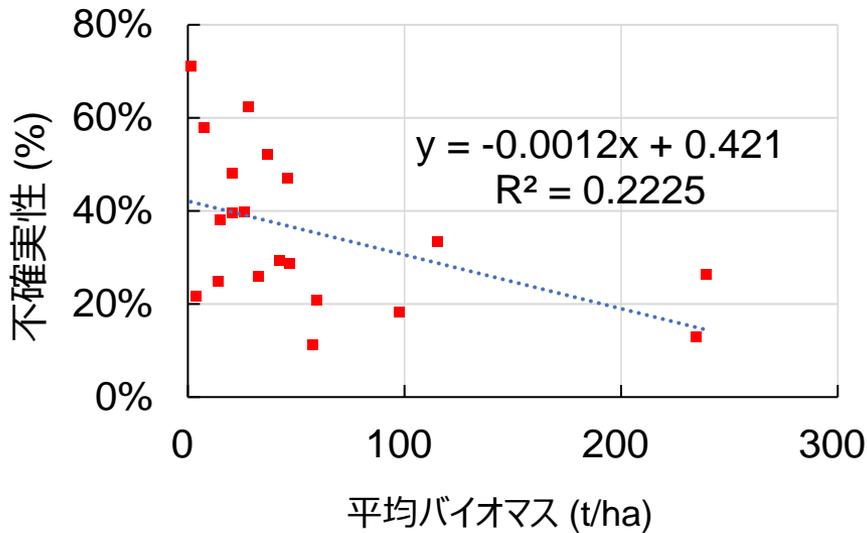


図15. バイオマス平均値及びそのばらつきと不確実性の関係（階層化有り） 26

4-7. 不確実性因子の特定 (階層化有り)

疑似相関、統制変数がある可能性?

表12. 不確実性因子と不確実性の相関 (階層化有り)

不確実性因子 (階層 j 別)	階層 j 別		理論との 整合性	
	相関係数 (r _j)	決定係数 (r _j ²)		
対象面積 (A _j)	-0.19	0.04	有り	
プロット面積 (A _p)	0.07	0.01	疑わしい	
サンプル数 (n _j)	-0.50	0.25	有り	
サンプル率 (n _j *A _p /A _j)	0.13	0.02	疑わしい	
平均バイオマス (m _j)	-0.47	0.22	有り	
ばらつき	分散 (s _j ²)	-0.28	0.08	N.A.
	分散 (s _j ² /m _j)	-0.08	0.01	N.A.
	分散 (s _j ² /m _j ²)	0.77	0.59	有り
	標準偏差 SD _j	-0.32	0.1	N.A.
	標準偏差 (SD _j /m _j)	0.80	0.64	有り
	標準誤差 SE _j	-0.21	0.04	N.A.
	標準誤差 (SE _j /m _j)	0.99	0.99	有り

相関係数 (r_j)

- : 0.00 ~ ±0.20
ほとんど相関がない
- : 0.20 ~ ±0.40
低い相関がある
- : 0.40 ~ ±0.70
比較的高い相関がある
- : 0.70 ~ ±1.00
高い相関がある

$$\text{不確実性(\%)} = \frac{CI_j / 2}{m_j}$$

$$\text{標準偏差}(SD_j) = \sqrt{s_j^2}$$

信頼区間(CI_i)は、 $m_j \pm t_j \text{値} \times SE_j$

$$\text{分散}(s_j^2) = \frac{1}{n_j - 1} \sum_{i_j=1}^{n_j} (x_{ij} - m_j)^2$$

$$\text{標準誤差}(SE_j) = \frac{SD_j}{\sqrt{n_j}}$$

サンプル数 : n_j サンプル : x_j サンプル平均値 : m_j 27

5. 考察（2）不確実性因子の特定について

- 今回の分析の結果、不確実性は、当然、その規定の計算式に用いられている因子と相関が高いことが再確認された。

サンプル数 (n)		比較的高い負の相関有り
平均値 (m)		同上
ば ら つ き	分散（平均値の二乗で割った値）(s^2/m^2)	正の相関有り
	標準偏差（平均値で割った値）(SD/m)	同上
	標準誤差（平均値で割った値）(SE/m)	同上

- ただし今回は、1つの従属変数（不確実性）を1つずつの独立変数で回帰分析（単回帰分析）した。しかし、疑似相関の可能性、及び統制変数が存在する可能性がある。

したがって、

- 1つの従属変数（不確実性）を複数の独立変数で回帰分析（重回帰分析）してみる必要がある。

参考文献

石井俊全 (2012) 『意味がわかる統計学』 ベレ出版.

永田靖 (2003) 『サンプルサイズの決め方』 朝倉書店.

涌井貞美 (2013) 『意味がわかる統計解析』 ベレ出版.

Chave et al. (2014) Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees.

Climate-Data.org (2019閲覧) Climate Wonosari. <https://en.climate-data.org/asia/indonesia/special-region-of-yogyakarta/wonosari-765944/>

FAO (2019) ETo Calculator, Databases & Software, Land & Water.

ICFAF Wood Density Database (2019閲覧) <http://db.worldagroforestry.org/wd>

IPCC (2006) Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

IPCC (2019) 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

Ledo et al. (2018) Tree size and climatic water deficit control root to shoot ratio in individual trees globally. *New Phytologist*. 217 (1): pp. 8-11.

VERRA (2017) VCS Standard: VCS Version 3 (v3.7). Verified Carbon Standard.

Vieilledent et al. (2018) Code and data for: New formula and conversion factor to compute basic wood density of tree species using a global wood technology database. 29



ありがとうございました。
Terima kasih